

PAIR/1.390/98

PENGURAIAN LIMBAH EKSTIL DENGAN
IRADIASI GAMMA

AGUSTIN.M., BAGYO, WINARTI A. LINDU, H.
WINARNO.

PENGURAIAN LIMBAH TEKSTIL DENGAN IRADIASI GAMMA

Agustin N.M.Bagyo*, Winarti, A. Lindu*, H. Winarno¹, E.K.Winarno* dan
E. Widayat*

ABSTRAK

PENGURAIAN LIMBAH TEKSTIL DENGAN IRADIASI GAMMA. Telah dipelajari penguraian dan penghilangan warna limbah tekstil dengan iradiasi gamma. Sampel limbah tekstil diambil dari saluran pembuangan utama dan diiradiasi dengan dosis 5, 10, 15, 20 dan 25 kGy. Parameter yang diamati ialah perubahan spektrum dan pH sebelum dan sesudah iradiasi. Hasil penguraian diidentifikasi dengan alat HPLC menggunakan detektor uv, sedangkan pengukuran KOK (Kebutuhan Oksigen Kimia) dilakukan dengan cara kromat. Penguraian limbah tekstil dengan iradiasi gamma dan aerasi mulai terjadi pada dosis 5 kGy dimana pada dosis tersebut limbah tekstil mulai mengalami perubahan warna menjadi tidak berwarna. Pengukuran KOK dari sampel limbah warna merah ungu (I) dan biru tua (II) mengalami penurunan masing-masing dari 1204 ppm dan 658 ppm menjadi 16,3 ppm dan 16,5 ppm pada dosis 25 kGy. Salah satu hasil penguraian limbah tekstil yang dideteksi dengan HPLC diasumsikan sebagai asam oksalat.

ABSTRACT

THE DEGRADATION OF TEXTILE WASTE WATER USING GAMMA IRRADIATION . The degradation and decoloration of textile waste water by gamma irradiation have been studied. Samples from effluent of textile industry were taken to be irradiated at doses of 5, 10, 15, 20 and 25 kGy. The parameters examined were the change of absorption spectrum and the pH before and after irradiation. The degradation products were analyzed by using HPLC with UV detector and the measurement of COD (Chemical Oxygen Demand) was measured using chromic method. The degradation of textile waste water in aerated condition occurred at the dose of 5 kGy, at that dose the colour of the waste changed from colourish waste into a clear condition. The COD measurements of purple red and dark blue samples were decreased from initial 1204 ppm and 658 ppm into 16,3 ppm and 16,5 ppm, respectively at the dose of 25 kGy. The degradation product that could be detected using HPLC was assumed to be oxalic acid.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor tekstil, sehingga limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut memberikan kontribusi yang besar dalam pencemaran lingkungan. Limbah tekstil yang dihasilkan mengandung berbagai pencemar organik dengan konsentrasi sangat tinggi. Pengolahan limbah tekstil dengan cara yang umum dilakukan dengan menggunakan cara fisika, kimia dan biologi dimana cara tersebut dapat mengubah warna dan menguraikan limbah tersebut, namun perlu dilakukan perbaikan karena dengan cara itu masih dikeluarkan sejumlah *sludge*. Laporan dari Sarpedal, Jakarta mengatakan bahwa penghilangan warna dari limbah zat warna tekstil masih mengalami kesulitan, oleh karena itu perlu dilakukan pencarian alternatif lain ⁽¹⁾.

Mekanisme interaksi radiasi pengion dengan air dapat menyebabkan terbentuknya spesi-spesi H^\bullet , $^\bullet OH$, e_{aq}^- , H^+ dan molekul H_2O_2 . Diantara spesi-spesi tersebut yang bersifat oksidator ialah radikal OH ($^\bullet OH$) dan molekul H_2O_2 , sedangkan yang bersifat reduktor ialah radikal hidrogen (H^\bullet) dan elektron tersolvasi (e_{aq}^-). Iradiasi yang dilakukan menggunakan aliran oksigen akan menyebabkan radikal H^\bullet bereaksi cepat dengan O_2 membentuk HO_2^\bullet yang juga bersifat oksidator. Spesi oksidator ini akan menyerang gugus aromatis dan terurai menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti asam-asam organik akhirnya menjadi CO_2 dan H_2O yang aman bagi lingkungan. Pengolahan limbah dengan menggunakan teknik radiasi juga mempunyai kemampuan menurunkan kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dan kebutuhan oksigen biologi (KOB).

Penelitian terhadap penguraian berbagai macam standar zat warna dengan iradiasi gamma telah dilakukan antara lain memakai zat warna dispersi, basa, reaktif dan direk. Dari hasil penelitian diperoleh informasi bahwa hasil penguraian senyawa-senyawa tersebut berupa senyawa yang bersifat asam, dimana salah satu senyawa yang terdeteksi dengan HPLC ialah asam oksalat ⁽²⁻⁶⁾.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari penguraian limbah industri tekstil dengan iradiasi gamma dalam skala besar (5 liter) untuk melengkapi data yang sudah dilakukan dalam skala laboratorium.

BAHAN DAN METODE

Bahan Kimia. Na-tiosulfat, indikator kanji, Ag_2SO_4 , H_3PO_4 , Asam oksalat p.a, $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$, dan indikator ferroin.

Pengambilan sampel. Sampel limbah diambil dengan jerigen plastik dengan volume 5 liter dari saluran pembuangan pertama dan pengambilan dilakukan dua hari berturut-turut. Sampel I berwarna merah ungu dan sampel II berwarna biru tua. Sebanyak 1000 ml sampel diambil dan diencerkan dengan akuades menjadi 5000 ml lalu dimasukkan ke dalam alat khusus untuk mengiradiasi sampel. Alat tersebut dibuat dari *stainless steel* dengan \varnothing 15 cm dan tinggi 40 cm.

Iradiasi sampel. Iradiasi dilakukan dengan menggunakan iradiator karet alam (IRKA) pada suhu kamar (35°C) dengan variasi dosis 5, 10, 15, 20 dan 25 kGy. Laju dosis 5 kGy/jam ditentukan dengan dosimeter Fricke. Selama iradiasi dialirkan udara ke dalam sampel melalui bagian bawah sampel.

Analisis. Analisis yang dilakukan ialah pengukuran serapan menggunakan spektrofotometer UV-VIS, perubahan pH dengan pH-meter, hasil penguraian dengan HPLC dan kebutuhan oksigen kimia (KOK) dengan cara kronat.

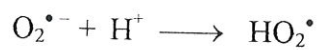
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran spektrum limbah

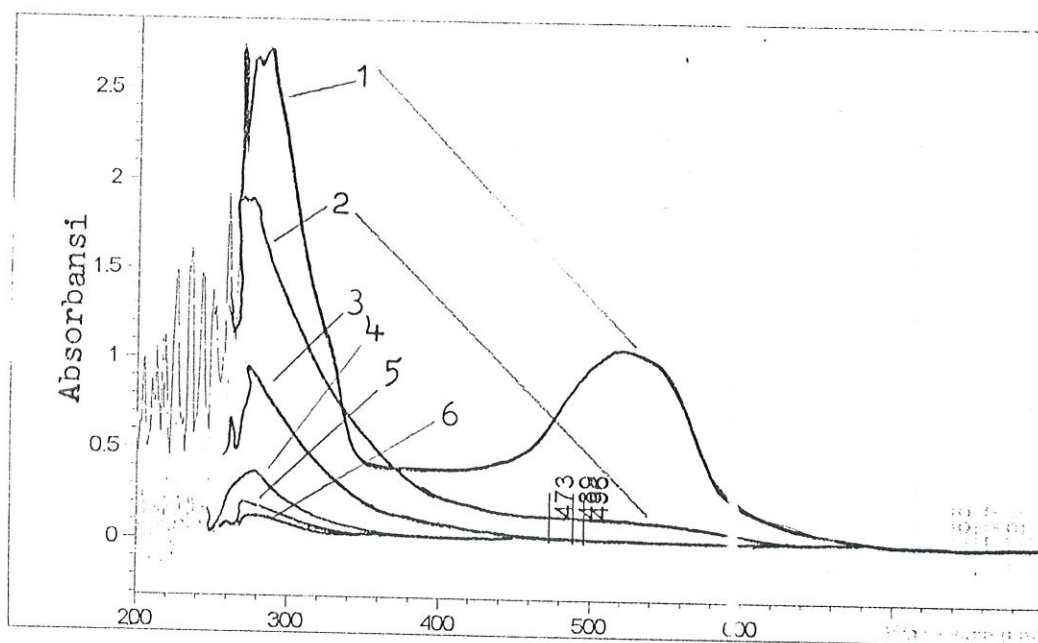
Sampel limbah I (berwarna merah ungu) mempunyai dua puncak serapan pada daerah ultra violet dengan panjang gelombang 287 nm dan daerah tampak pada panjang gelombang 521 nm. Sampel limbah II (berwarna biru tua) mempunyai dua puncak serapan pada daerah ultra violet pada panjang gelombang 278 nm dan daerah tampak pada panjang gelombang 590 nm. Gambar 1. dan 2. menunjukkan perubahan spektrum sampel limbah I dan II yang diiradiasi dengan dosis 5 kGy, 10 kGy, 15 kGy, 20 kGy dan 25 kGy dengan aliran udara selama iradiasi. Serapan pada daerah tampak lebih cepat menurun dengan naiknya dosis iradiasi dibandingkan pada daerah ultra violet. Serapan pada daerah tampak menunjukkan gugus terkonjugasi yang lebih mudah terurai dengan iradiasi gamma dimana pada dosis 5 kGy (kurva 2, 3, 4, 5, dan 6) puncak serapan pada daerah tampak menurun dengan cepat, sehingga warna larutan berubah menjadi tidak berwarna.

Pada peningkatan dosis iradiasi puncak serapan pada daerah ultra violet pada kurva 2, 3, 4, 5 dan 6 pada λ 278 nm mulai menurun. Serapan pada daerah ultra violet merupakan serapan dari gugus aromatis tersubstitusi yang lebih tahan terhadap radiasi. Ketahanan gugus aromatis ini disebabkan oleh adanya elektron ikatan π yang mudah

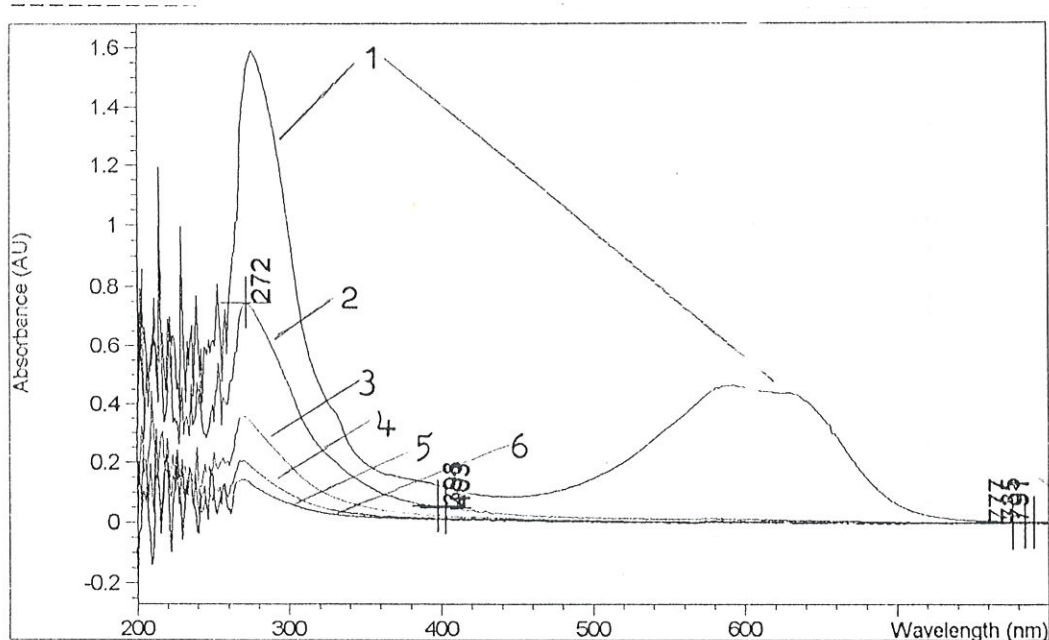
mengalami delokalisasi. Meningkatnya dosis iradiasi terlebih dengan adanya oksigen selama iradiasi akan meningkatkan spesi pengoksidasi, spesi inilah yang akan menguraikan molekul zat warna yang terdapat dalam limbah. Reaksi pengaruh adanya O_2 dalam larutan pada proses penguraian limbah dengan iradiasi ialah sebagai berikut :



Adanya oksigen dalam larutan akan meningkatkan populasi spesi oksidator, spesi inilah yang menyebabkan persistensi gugus aromatis terhadap radiasi pengion menurun.



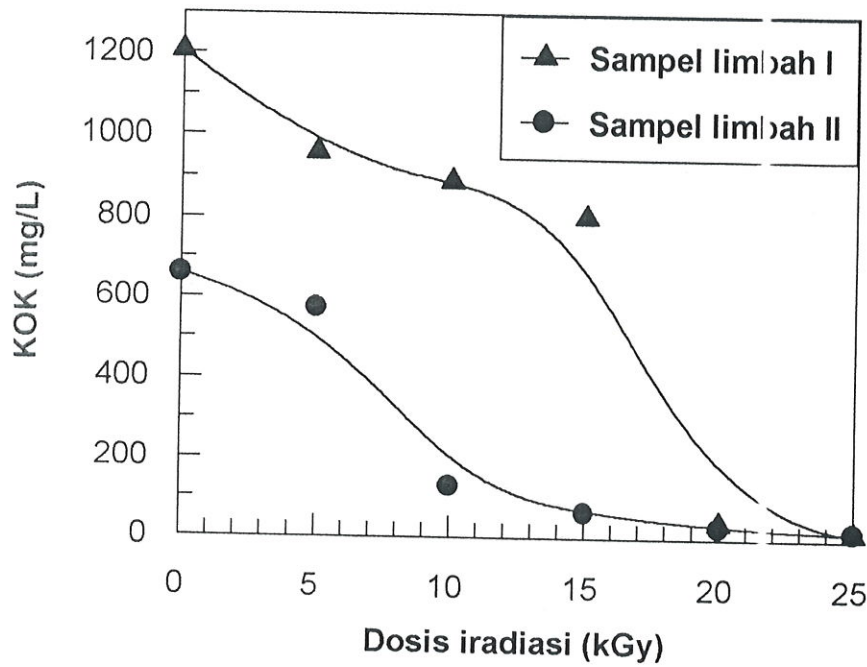
Gambar 1. Perubahan spektrum serapan sampel limbah I yang diiradiasi dengan aliran udara; laju dosis 5 kGy/jam (Kurva 1 = 0 kGy, 2 = 5 kGy, 3 = 10 kGy, 4 = 15 kGy, 5 = 20 kGy, 6 = 25 kGy)



Gambar 2. Perubahan spektrum serapan sampel limbah II yang diiradiasi dengan aliran udara; laju dosis 5 kGy/jam (Kurva 1 = 0 kGy, 2 = 5 kGy, 3 = 10 kGy, 4 = 15 kGy, 5 = 20 kGy, 6 = 25 kGy)

Pengukuran KOK

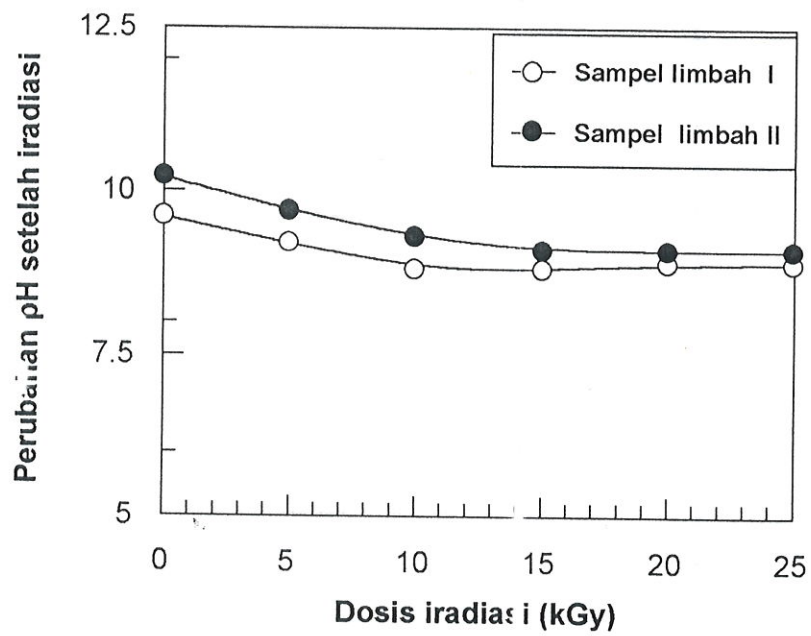
Hasil pengukuran kebutuhan oksigen kimia (KOK) dari sampel limbah I dan II ditampilkan pada Gambar 3. Iradiasi terhadap sampel limbah I dan II dapat menurunkan nilai KOK masing-masing dari KOK awal 1204 ppm dan 658 ppm menjadi 16,3 dan 16,5 ppm pada dosis 25 kGy. Penurunan ini menunjukkan bahwa senyawa kimia yang terdapat dalam limbah telah terurai oleh radiasi. Kebutuhan oksigen kimia ialah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasikan pencemar organik yang terdapat dalam limbah. Salah satu indikator dalam pengukuran limbah ialah pengukuran KOK dimana makin kecil nilai KOK berarti makin sedikit pencemar organik yang terdapat dalam limbah. Kenaikan dosis iradiasi menyebabkan turunnya nilai KOK sampel limbah I dan II.



Gambar 3. Pengaruh iradiasi gamma terhadap perubahan KOK sampel limbah I dan II

Pengukuran pH

Gambar 4. menunjukkan pengukuran pH sampel limbah I dan II sebelum dan sesudah iradiasi dengan aerasi, dimana pengukuran pH sesudah iradiasi menunjukkan adanya penurunan. Penurunan pH ini disebabkan oleh terbentuknya senyawa yang bersifat asam sebagai hasil penguraian tersebut. Menurut HOSONO et.al ionisasi radiasi molekul zat warna menghasilkan senyawa dengan berat molekul rendah seperti aldehyd dan asam-asam organik⁽²⁾. Kenaikan dosis akan menyebabkan senyawa tersebut terurai menjadi CO₂ dan H₂O. Adapun data-data pengukuran pH disajikan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat bahwa pH mengalami sedikit penurunan dari pH awal masing-masing 9,6 (sampel limbah I) dan 10,2 (sampel limbah II) menjadi 8,8 (sampel limbah I) dan 9,3 (sampel limbah II) pada dosis 10 kGy. Kemudian pH mengalami kenaikan pada dosis di atas 10 kGy. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa yang bersifat asam telah terurai menjadi CO₂ dan H₂O.



Gambar 4. Pengukuran perubahan pH sampel limbah sebelum dan sesudah iradiasi

Tabel 1. Data pengukuran pH sampel limbah sebelum dan sesudah iradiasi

Dosis (kGy)	pH limbah I	pH limbah II
0	9,6	10,2
5	9,2	9,7
10	8,8	9,3
15	8,8	9,1
20	8,9	9,1
25	8,9	9,1

Analisis Larutan Hasil Iradiasi

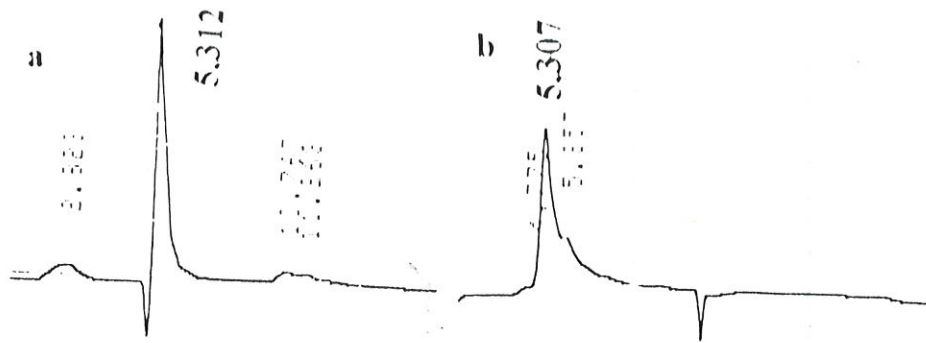
Sampel limbah yang diiradiasi dengan dosis 5, 10, 15, 20 dan 25 kGy mengalami penguraian menjadi senyawa lain yang diduga sebagai asam-asam organik antara lain asam oksalat, asam suksinat, asam maleat, asam propionat dan asam asetat. Untuk mengetahui adanya senyawa tersebut dilakukan identifikasi dengan menggunakan

alat HPLC. Waktu retensi asam organik yang terbentuk dibandingkan dengan waktu retensi standar asam.

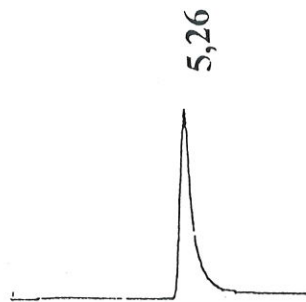
Gambar 5a. dan Gambar 5b. membuktikan kromatogram hasil iradiasi dari larutan sampel limbah I dan II sedangkan Gambar 6. merupakan kromatogram dari standar asam oksalat hasil pengukuran dengan HPLC. Sampel yang diiradiasi pada gambar tersebut menunjukkan kromatogram dengan waktu retensi 5,3 menit, dimana waktu retensi tersebut mendekati waktu retensi dari asam oksalat standar yaitu 5,2 menit. Berdasarkan pengamatan kromatogram, kemungkinan besar hasil pengukuran sampel limbah industri tekstil adalah berupa asam oksalat. Adanya asam oksalat sebagai senyawa hasil penguraian diperkuat dengan analisis kuantitatif seperti terlihat pada Tabel 2. Pembentukan asam oksalat pada sampel limbah I menurun pada dosis 5 kGy, diduga pada dosis di atas 5 kGy asam oksalat mengalami oksidasi lebih lanjut menjadi CO₂ dan H₂O, sedangkan pada sampel limbah II pembentukan asam oksalat makin naik pada dosis 5 kGy. Hasil analisis kuantitatif asam oksalat yang terbentuk ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis kuantitatif asam oksalat yang terbentuk dari sampel limbah yang diiradiasi pada dosis 5, 10, 15, 20 dan 25 kGy

Sampel	Dosis (kGy)	Asam oksalat (mg/L)
I	5	$4,34 \times 10^{-5}$
	10	$2,6 \times 10^{-5}$
	15	$2,74 \times 10^{-5}$
	20	ttd
	25	ttd
II	5	$8,5 \times 10^{-6}$
	10	$8,5 \times 10^{-6}$
	15	0,01
	20	0,017



Gambar 5a. Hasil kromatogram sampel I setelah diiradiasi pada dosis 5 kGy
 5b. Hasil kromatogram sampel II setelah diiradiasi pada dosis 20 kGy



Gambar 6. Hasil kromatogram standar asam oksalat

Kondisi analisis :
 Kolom : Shodex RS-pax
 Pelarut : H₃PO₃ 0,03%
 Detektor : UV (210 nm)
 Kecepatan aliran pelarut : 1 ml/menit

KESIMPULAN

Iradiasi sinar gamma dengan aerasi dapat menguraikan limbah tekstil menjadi senyawa yang bersifat asam yaitu asam oksalat. Penguraian sampel limbah tekstil mulai terjadi pada dosis 5 kGy. Pada kondisi ini sampel limbah I dan II selain mengalami penurunan pH juga mengalami pembentukan asam oksalat. pH sampel limbah I dan II turun masing-masing dari pH awal 9,6 dan 10,2 menjadi pH 9,2 dan 9,7 dan pembentukan asam oksalat masing-masing sebesar $2,74 \times 10^{-5}$ mg/L dan $8,5 \times 10^{-6}$

mg/L. Pada dosis 25 kGy KOK sampel limbah I dan II mengalami penurunan masing-masing dari KOK awal 1204 ppm dan 658 ppm menjadi 16,1 ppm dan 16,5 ppm.

Iradiasi limbah tekstil dalam skala besar (5 liter) menunjukkan hasil yang memuaskan karena hasil penguraian berupa asam oksalat yang akan terurai lebih lanjut menjadi CO₂ dan H₂O sehingga aman bagi lingkungan. Dari data di atas perlu ditindak lanjuti pengolahan limbah dalam skala pilot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada IAEA atas bantuan yang diberikan dalam melakukan penelitian ini. Ucapan serupa juga disampaikan kepada PT Unitex Bogor, yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan limbah tekstil. Juga kepada Sdri. Kristina Tri Suharni, Sdr. Syurhubel dan anggota Lab. IFI, yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. RACHMAN, A., Sarpedal Jakarta., Komunikasi pribadi (1996).
2. HOSONO, M., ARAI, H., AIZAWA, M., YAMAMOTO, I., SHIMIZU, K. and SUGIYAMA, M., Decoloration and degradation of azo dye in aqueous solution, *Appl. Radiat. Isot.*, **44** (1993)1199.
3. BAGYO, N.M.A., ANDAYANI, W., and SADJIRUN, S., Radiation-Induced Degradation and Decoloration of Disperse Dyes in Water., *Env. Appl. of Ionizing Radiat.* (1998)507.
4. BAGYO, N.M.A., LINDU, W.A., WINARNO, H., WINARNO, E.K., WIDAYAT, E and SOEBIANTO, Y.S., Radiolysis of Reactive Azo Dyes in Aqueous Solution., paper was presented in ISEE'97 (International Symposium on Environmental Engineering) in Korea, September, 1997. (to be published).
5. BAGYO, N.M.A., ARAI, H and MIYATA, T., Radiation-induced decoloration and sedimentation of colloidal disperse dyes in water., *Appl. Radiat. Isot.*, **48**(1997)175.
6. BAGYO, A.S.M., Andayani, W., Winarno, E.K dan Winarno, H., Radiolisis larutan Standar Zat Warna Basa Maxilon Golden Yellow, dipresentasikan di Yogyakarta yang diselenggarakan oleh JNK 1997 (belum diterbitkan).